

This Page Is Inserted by IFW Operations  
and is not a part of the Official Record

## **BEST AVAILABLE IMAGES**

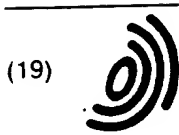
Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning documents *will not* correct images,  
please do not report the images to the  
Image Problem Mailbox.**



(19)

Europäisches Patentamt

European Patent Office

Office européen des brevets



(11)

EP 1 003 011 A1

(12)

## DEMANDE DE BREVET EUROPEEN

(43) Date de publication:  
24.05.2000 Bulletin 2000/21

(51) Int Cl. 7. G01B 11/00, G01B 11/275,  
G01C 15/00

(21) Numéro de dépôt: 99402838.9

(22) Date de dépôt: 16.11.1999

(84) Etats contractants désignés:  
AT BE CH CY DE DK ES FI FR GB GR IE IT LI LU  
MC NL PT SE  
Etats d'extension désignés:  
AL LT LV MK RO SI

(30) Priorité: 20.11.1998 FR 9814661

(71) Demandeur: **Compagnie Européenne  
d'Equipements de Garage**  
91420 Morangis (FR)

(72) Inventeurs:  
• **Rapidel, Jean-Loup**  
27730 Bueil (FR)

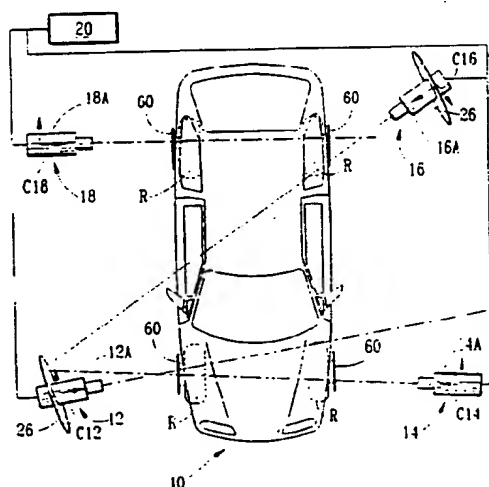
- **Lapreste, Jean-Thierry**  
63000 Clermont-Ferrand (FR)
- **Rives, Gérard**  
63450 Chanonat (FR)
- **Dhome, Michel**  
63430 Pont du Chateau (FR)
- **Lavest, Jean-Marc**  
63000 Clermont-Ferrand (FR)

(74) Mandataire: **Blot, Philippe Robert Emile et al**  
c/o Cabinet Lavoix,  
2, place d'Estienne d'Orves  
75441 Paris Cedex 09 (FR)

(54) **Détermination optique des positions relatives d'objets dans l'espace**

(57) L'installation optique de détermination des positions relatives d'au moins deux objets (R) tels que des roues de véhicule comporte deux systèmes optiques (12, 14) de détermination de la position d'un objet dans l'espace, chacun par rapport à son repère d'observation (C12, C14). Un système optique de référence (12) comporte une cible (26) visible depuis l'autre système optique (14) en l'absence des objets (R). L'autre système optique (14) comporte des moyens (20) d'analyse d'une image de la cible (26) et des moyens (20) de positionnement de la cible (26) par rapport à son repère d'observation (C14), pour en déduire la position du repère d'observation (C14) de l'autre système optique (14) par rapport au repère d'observation (C12) du système optique de référence, à partir des positions de la cible (26) par rapport au repère d'observation (C14), et de la cible (26) par rapport au repère d'observation (C12) du système optique de référence (12).

Application au contrôle de géométrie d'un véhicule.



**FIG.1**

## Description

[0001] La présente invention concerne une installation optique de détermination des positions relatives d'au moins deux objets dans l'espace, du type comportant au moins deux systèmes optiques chacun associé à un repère d'observation, les systèmes optiques étant adaptés chacun pour la détermination de la position d'un objet dans l'espace par rapport à son repère d'observation; à partir d'une image de l'objet relevée par ledit système optique.

[0002] Elle concerne en outre un procédé de détermination des positions relatives d'au moins deux objets dans l'espace, du type mettant en oeuvre au moins deux systèmes optiques chacun associé à un repère d'observation, les systèmes optiques étant adaptés chacun pour la détermination de la position d'un objet dans l'espace par rapport à son repère d'observation, à partir d'une image de l'objet relevée par ledit système optique.

[0003] Pour le contrôle de la géométrie d'un véhicule automobile, il est nécessaire de connaître les positions relatives des roues du véhicule. Ces informations permettent de contrôler et d'éventuellement corriger le parallélisme des roues et en particulier la géométrie du véhicule.

[0004] A cet effet, on connaît différentes installations et procédés permettant, à l'aide de plusieurs systèmes optiques observant chacun une roue du véhicule, de déterminer les positions relatives de ces roues. De tels dispositifs et procédés sont décrits par exemple dans les documents WO-94/05969 et US-A-5,675,515.

[0005] Dans ces installations, les systèmes optiques sont formés par des caméras indépendantes, ou une caméra unique associée à des ensembles de lentilles définissant des chemins optiques distincts pour un même faisceau incident. Les systèmes optiques permettent l'observation simultanée des roues du véhicule, et, à partir des images de celles-ci, de déterminer leurs positions relatives.

[0006] A cet effet, il est nécessaire que les différents systèmes optiques soient dans des positions relatives connues, sans quoi il est impossible de corréler les informations obtenues à partir des images de chaque roue. Pour garantir des positions relatives fixes des systèmes optiques les uns par rapport aux autres, les dispositifs décrits dans ces documents prévoient des structures mécaniques rigides sur lesquelles sont immobilisés les systèmes optiques.

[0007] La présence de telles structures mécaniques rigides rend l'installation encombrante. De plus, celle-ci est fragile puisque la déformation, par exemple suite à un choc involontaire, des structures mécaniques rigides conduit à des erreurs de mesure des positions relatives des roues du véhicule.

[0008] L'invention a pour but de proposer une installation et un procédé optiques de détermination des positions relatives, dans l'espace, d'au moins deux objets, notamment des roues de véhicules, l'installation ayant un encombrement réduit, une mise en oeuvre aisée, et une sensibilité réduite aux conditions rigoureuses rencontrées dans un garage.

[0009] A cet effet, l'invention a pour objet une installation optique de détermination des positions relatives d'au moins deux objets dans l'espace, du type précité, caractérisée en ce que les systèmes optiques sont déplaçables les uns par rapport aux autres, en ce qu'un système optique, constituant un système optique de référence, comporte un ensemble de points de référence, de configuration géométrique connue, l'ensemble des points de référence étant immobilisé dans une position connue par rapport au repère d'observation du système optique de référence, et visible depuis le ou chaque autre système optique en l'absence des objets, en ce que le ou chaque autre système optique comporte des moyens d'analyse d'une image de l'ensemble des points de référence et des moyens de positionnement de l'ensemble des points de référence par rapport à son repère d'observation, et en ce qu'elle comporte des moyens de déduction de la position du repère d'observation du ou de chaque autre système optique par rapport au repère d'observation du système optique de référence, à partir de la position de l'ensemble des points de référence par rapport à chaque repère d'observation, et de la position connue de l'ensemble des points de référence par rapport au repère d'observation du système optique de référence.

[0010] Suivant des modes particuliers de réalisation, l'installation optique comporte l'une ou plusieurs des caractéristiques suivantes :

- chaque système optique comporte une caméra vidéo supportée par un pied et reliée à une même unité centrale de traitement d'informations ;
- ledit ensemble de points de référence comporte un groupe de marques visibles discrètes coplanaires ainsi qu'au moins une marque visible non coplanaire ;
- elle comporte des appliques adaptées pour être solidarisées chacune à un objet dans une position connue, et en ce que chaque système optique comporte des moyens de détermination de la position d'une applique dans l'espace par rapport à son repère d'observation et des moyens de déduction de la position de l'objet par rapport à son repère d'observation à partir de la position déterminée de l'applique par rapport à son repère d'observation et de la position connue de l'applique par rapport à l'objet ;
- l'installation comportant quatre systèmes optiques destinés à être disposés sensiblement aux sommets d'un quadrilatère pour la détermination des positions relatives de quatre objets dans l'espace, les objets étant disposés à l'intérieur de la zone délimitée par le quadrilatère, comporte deux installations optiques telles que définies ci-

dessus l'ensemble des points de référence d'un premier système optique de référence étant visible depuis le second système optique de référence en l'absence des objets le second système optique de référence comporte des moyens d'analyse d'une image de l'ensemble des points de référence du premier système optique de référence et des moyens de positionnement de l'ensemble des points de référence par rapport à son repère d'observation.  
 5 elle comporte des moyens de déduction de la position du repère d'observation du second système optique de référence par rapport au repère d'observation du premier système optique de référence du premier système optique de référence. à partir de la position de l'ensemble des points de référence du premier système optique de référence par rapport au repère d'observation du second système optique de référence. et de la position connue de l'ensemble des points de référence du premier système optique de référence par rapport au repère d'observation  
 10 du premier système optique de référence. et elle comporte des moyens de déduction des positions relatives des repères d'observation de chaque système optique.

[0011] L'invention a en outre pour objet un procédé optique de détermination des positions relatives d'au moins deux objets dans l'espace. du type précité, caractérisé en ce que les systèmes optiques sont déplaçables les uns par rapport  
 15 aux autres. en ce que l'on munit un système optique, constituant un système optique de référence d'un ensemble de points de référence, de configuration géométrique connue, l'ensemble de points de référence étant immobilisé dans une position connue par rapport au repère d'observation du système optique de référence, et visible depuis le ou chaque autre système optique en l'absence des objets. en ce que le ou chaque autre système optique analyse une image de l'ensemble des points de référence et détermine le positionnement de l'ensemble des points de référence  
 20 par rapport à son repère d'observation, et en ce que l'on déduit la position du repère d'observation du ou de chaque autre système optique par rapport au repère d'observation du système optique de référence, à partir de la position de l'ensemble des points de référence par rapport à chaque repère d'observation, et de la position connue de l'ensemble des points de référence par rapport au repère d'observation du système optique de référence.

[0012] L'invention sera mieux comprise à la lecture de la description qui va suivre. donnée uniquement à titre d'exemple et faite en se référant aux dessins, sur lesquels :

- La figure 1 est une vue de dessus d'une installation optique selon l'invention adaptée pour déterminer les positions relatives des quatre roues d'un véhicule automobile ;
- Les figures 2A et 2B sont des vues en perspective d'un même système optique de référence du dispositif de la  
 30 figure 1 sur lesquelles sont représentés respectivement un repère d'observation propre à l'organe de recueil d'image et un repère visible défini par un ensemble de points de référence ;
- La figure 3 est une vue en perspective d'un système optique de référence disposé face à un miroir qui est déplaçable entre deux positions, afin de déterminer la position du repère d'observation du système optique par rapport à son repère visible ; et
- La figure 4 est une vue schématique illustrant la détermination selon l'invention des positions relatives des repères  
 35 d'observation de deux systèmes optiques en regard.

[0013] L'installation représentée sur la figure 1 est destinée à déterminer, de manière optique, les positions relatives des quatre roues R d'un véhicule automobile désigné par la référence 10.

[0014] L'installation comporte quatre systèmes optiques 12, 14, 16, 18 associés chacun à une roue R du véhicule. Ils comportent chacun une caméra vidéo CCD notée 12A, 14A, 16A, 18A. Ces quatre caméras sont reliées à une unité centrale de traitement d'informations 20 formée par exemple par un ordinateur adapté pour traiter les images reçues.

[0015] Les systèmes optiques 12, 14, 16, 18 sont déplaçables les uns par rapport aux autres autour du véhicule 10. Pour un fonctionnement correct de l'installation, les systèmes optiques sont disposés immobiles aux quatre sommets  
 45 d'un quadrilatère, notamment un rectangle entourant le véhicule.

[0016] Le système optique 12 est représenté en perspective sur les figures 2A et 2B. La caméra vidéo 12A est supportée par un trépied 24 adapté pour être posé sur le sol. En outre, la caméra 12A est solidaire d'une cible 26 délimitant un repère visible (O,xyz) noté A12, et visible sur la figure 2A. La cible 26 est immobilisée par des moyens mécaniques par rapport à la structure de la caméra et notamment par rapport à son repère d'observation (O',x'y'z')  
 50 noté C12. Le repère d'observation C12 est lié à l'organe 28 de recueil d'image de la caméra 12A et notamment à son capteur CCD.

[0017] Le système optique 12 constitue un système optique de référence. De même, le système optique 16, disposé dans le coin opposé par rapport au véhicule dans la configuration de la figure 1, constitue également un système optique de référence et a une structure identique à celle du système optique 12.

[0018] Au contraire, les systèmes optiques 14 et 18 sont dépourvus de cible et comportent un simple capteur vidéo 14A, 18A portée par un trépied de support.

[0019] En variante, les systèmes optiques 14 et 18 sont de même structure que les systèmes optiques 12 et 16. Dans ce cas, les quatre systèmes optiques sont des systèmes optiques de référence, ce qui permet des mesures

redondantes et donc une plus grande fiabilité du résultat de ces mesures.

[0020] Comme représenté sur la figure 2A la cible 26 est formée par exemple par un disque de centre O à la périphérie duquel sont répartis douze points coplanaires 26A. En outre, la cible 26 comporte un treizième point 26B disposé en avant du plan principal du disque comportant les douze points 26A.

5 [0021] Ce point particularise angulairement le disque 26 et permet de définir deux axes orthogonaux. Ox et Oy dans le plan de la cible. L'axe Oy passe avantageusement au droit du point 26B.

[0022] La cible 26 présente un axe principal de symétrie défini par les douze points coplanaires répartis régulièrement à la périphérie du disque. L'axe principal de symétrie forme un axe Oz perpendiculaire aux axes Ox, Oy.

[0023] Les axes Oz, Oy, Ox et le point O définissent le repère visible A12.

10 [0024] Ainsi, la cible 26 constitue un ensemble de points de référence, de configuration géométrique connue définissant le repère visible A12. Celui-ci est immobilisé dans une position déterminable par rapport au repère d'observation C12 de la caméra.

[0025] Comme représenté sur la figure 2B, le repère d'observation C12 a pour centre, noté O', le centre du capteur CCD de la caméra 12A. Le repère d'observation est défini par un trièdre (O'x', O'y', O'z'), où O'z' est l'axe optique de la caméra. O'x' est un axe parallèle aux lignes horizontales de pixels du capteur CCD et O'y' est un axe parallèle aux colonnes verticales de pixels du capteur CCD.

15 [0026] La configuration géométrique de l'ensemble des points de référence de la cible 26 est mémorisée dans l'unité de traitement d'informations 20.

[0027] L'unité de traitement d'informations 20 comporte des moyens de mise en oeuvre d'algorithmes de détermination de la position d'un objet dans l'espace. En particulier, elle est adaptée pour déterminer la position d'un objet portant un ensemble de points de référence disposés suivant une configuration géométrique connue, cette configuration étant préalablement mémorisée dans l'unité 20. Cette position est déterminée à partir de l'image de cet objet prise par une caméra reliée à l'unité de traitement d'informations. La position de l'objet dans l'espace est calculée par rapport au repère d'observation C12 de la caméra. L'algorithme mis en oeuvre est de tout type adapté et par exemple du type

25 de celui décrit dans la demande WO 94/05969.

[0028] En vue de la mise en oeuvre de tels algorithmes, il convient d'utiliser des caméras préalablement étalonnées pour compenser les erreurs résultant des imperfections de la caméra et du capteur qu'elle comporte.

[0029] A cet effet, on détermine, pour chaque caméra, ses caractéristiques intrinsèques (repère d'observation, distance focale, taille des éléments d'image ou pixels, distorsion radiale, distorsion tangentielle) et ses caractéristiques extrinsèques (matrices de rotation et de translation qui, appliquées à l'objet observé, forment une image strictement identique à l'image observée par la caméra débarrassée de ses distorsions). On détermine ainsi par des méthodes connues les corrections devant être apportées aux images produites afin de déterminer une position correcte d'un objet dans l'espace.

[0030] Pour la mise en oeuvre du procédé selon l'invention, il est nécessaire de connaître, pour chaque système optique de référence 12, 16, les positions relatives du repère d'observation de la caméra, et du repère visible défini par la cible. En effet, il est extrêmement délicat, voire impossible, lors de l'immobilisation de la cible sur la caméra, de fixer celle-ci de sorte que les deux repères C12 et A12 soient exactement confondus.

[0031] Sur la figure 3 est illustré le procédé mis en oeuvre pour déterminer la position relative des deux repères C12 et A12 propre au système optique 12. Le procédé utilisé pour le système optique 16 est analogue.

40 [0032] Suivant ce procédé, le système optique 12 est disposé en regard de la face réfléchissante d'un miroir plan 50. Ce miroir est suspendu à une potence 52. Les moyens de suspension sont adaptés pour un mouvement libre de rotation du miroir autour d'un axe vertical  $\Delta$ .

[0033] Le miroir 50 comporte sur sa face réfléchissante un ensemble de marques de référence 54A constituées par des disques noirs répartis, en figure géométrique connue tel qu'un carré, à la périphérie du miroir. Une marque de référence supplémentaire 54B est disposée en avant de la face réfléchissante du miroir 50. La configuration géométrique des marques de référence 54A et 54B est connue et mémorisée dans l'unité de traitement d'informations 20.

45 [0034] Sur la figure 3 la normale au miroir 50 est notée n. Cette normale est perpendiculaire au miroir et passe par le centre de la figure délimitée par l'ensemble des marques 54A et 54B. Le miroir comporte un repère propre ( $O_m$ ,  $x_m y_m z_m$ ) dont le centre  $O_m$  est le centre de la figure délimitée par les marques 54A. L'axe  $O_m z_m$  s'étend suivant la normale n. Les axes  $O_m x_m$  et  $O_m y_m$  s'étendent perpendiculairement l'un à l'autre dans le plan du miroir 50. Avantageusement l'axe  $O_m y_m$  s'étend parallèlement à l'axe  $\Delta$ .

[0035] La cible 26, portant l'ensemble des points de référence 26A et 26B, se réfléchit sur la surface réfléchissante du miroir 50 et forme sur le miroir une image de la cible notée 56.

55 [0036] Ainsi, la caméra 12A recueille, dans le repère d'observation C12, une image de la face réfléchissante du miroir 50 comportant d'une part l'ensemble des marques de référence 54A et 54B, et d'autre part l'image réfléchie 56 de la cible portée par le système optique.

[0037] La caméra 12A étant reliée à l'unité de traitement d'informations 20 celle-ci détermine, à partir de l'algorithme mémorisé, la position du miroir 50 par rapport au repère d'observation C12 à partir de l'image prise de l'ensemble des

marques de référence 54A et 54B portées par le miroir.

**[0038]** De même, l'unité de traitement d'informations 20 détermine par mise en oeuvre de l'algorithme mémorisé la position de l'image virtuelle de la cible 26 par rapport au repère d'observation C12 de la caméra. Plus particulièrement, l'unité de traitement d'informations 20 détermine la position d'un repère visible virtuel ( $O^*.x^*y^*z^*$ ) associé à l'image virtuelle de la cible 26 par rapport au repère d'observation ( $O'.x'y'z'$ ) de la caméra.

**[0039]** Le repère visible virtuel ( $O^*.x^*y^*z^*$ ) est l'image virtuelle du repère visible ( $O.xyz$ ) obtenue par réflexion dans le miroir 50.

**[0040]** A partir des positions relatives, du repère d'observation ( $O'.x'y'z'$ ) par rapport au repère du miroir ( $O_m.x_my_mz_m$ ) d'une part, et du repère visible virtuel ( $O^*.x^*y^*z^*$ ) par rapport au repère d'observation ( $O'.x'y'z'$ ) d'autre part, l'unité centrale de traitement d'informations 20 détermine la position du repère d'observation ( $O'.x'y'z'$ ) de la caméra, par rapport au repère visible ( $O.xyz$ ) défini par la cible 26.

**[0041]** A cet effet, l'unité de traitement d'informations 20 procède de la manière suivante.

**[0042]** Par l'algorithme mis en oeuvre par l'unité 20 la position de l'image virtuelle, correspondant à l'image 56 de la cible et obtenue par réflexion dans le miroir 50, est déterminée par analyse de l'image recueillie par la caméra 12A.

**[0043]** Ce positionnement permet de déterminer une matrice  $M_{o-v}$  de passage entre le repère virtuel ( $O^*.x^*y^*z^*$ ) lié à l'image virtuelle et le repère d'observation ( $O'.x'y'z'$ ). Ce changement de repère s'exprime, sous forme matricielle, de la manière suivante :

$$\begin{bmatrix} x'' \\ y'' \\ z'' \\ 1 \end{bmatrix} = M_{o-v} \begin{bmatrix} x' \\ y' \\ z' \\ 1 \end{bmatrix} \text{ où } M_{o-v} = \begin{bmatrix} R & T \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$M_{o-v}$  étant une matrice 4x4.

où R est une sous-matrice de rotation 3x3

T est une sous-matrice de translation 1x3 ;

( $x'', y'', z''$ ) sont les coordonnées d'un point M dans le repère visible virtuel ( $O^*.x^*y^*z^*$ ) ; et

( $x', y', z'$ ) sont les coordonnées du point M dans le repère d'observation ( $O'.x'y'z'$ ).

**[0044]** Par un algorithme de même type, l'unité de traitement d'informations 20 détermine la position du miroir 50, et notamment de son repère associé ( $O_m.x_my_mz_m$ ) dans le repère d'observation ( $O'.x'y'z'$ ) lié à la caméra. Pour ce faire, l'unité de traitement d'informations 20 analyse l'image du miroir 50 recueillie par la caméra et détermine la position du miroir 50 à partir de l'analyse de la position des marques de référence 54A et 54B apparaissant sur l'image.

**[0045]** Une matrice de passage  $M_m$ , entre le repère d'observation ( $O'.x'y'z'$ ) et le repère ( $O_m.x_my_mz_m$ ) du miroir est ainsi déterminée. Les coordonnées d'un même point M dans les deux repères sont donc liées par la relation :

$$\begin{bmatrix} x_m \\ y_m \\ z_m \\ 1 \end{bmatrix} = M_m \begin{bmatrix} x' \\ y' \\ z' \\ 1 \end{bmatrix} \text{ où } M_m = \begin{bmatrix} R_m & T_m \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

avec  $R_m$  est une sous-matrice de rotation 3x3

$T_m$  est une sous-matrice de translation 1x3 ; et

( $x_m, y_m, z_m$ ) sont les coordonnées du point M dans le repère du miroir ( $O_m.x_my_mz_m$ ).

d'où l'on déduit :

5

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \\ z' \\ 1 \end{bmatrix} = M_m^{-1} \begin{bmatrix} x_m \\ y_m \\ z_m \\ 1 \end{bmatrix}$$

où  $M_m^{-1}$  est l'inverse de la matrice  $M_m$ .

10

[0046] Ainsi, il est possible d'exprimer, dans le repère visible virtuel ( $O^*x^*y^*z^*$ ) les coordonnées d'un point M en fonction de ses coordonnées dans le repère du miroir ( $O_mx_my_mz_m$ ) par la relation matricielle suivante :

15

$$\begin{bmatrix} x'' \\ y'' \\ z'' \\ 1 \end{bmatrix} = M_{o'-v} \begin{bmatrix} x_m \\ y_m \\ z_m \\ 1 \end{bmatrix}$$

20

[0047] Afin de déterminer la position d'un point réel M dans le repère du miroir ( $O_mx_my_mz_m$ ), on utilise la propriété selon laquelle l'image virtuelle d'un point de coordonnées ( $x,y,z$ ) dans un repère donné, lorsque le miroir s'étend suivant le plan  $Ox$ ,  $Oy$ , a pour coordonnées ( $x,y,-z$ ).

[0048] Ainsi, les coordonnées ( $x'',y'',z''$ ) de l'image virtuelle dans le repère visible virtuel du point M de coordonnées ( $x,y,z$ ) dans le repère visible sont obtenues par l'application de la matrice diagonale  $S_z$  suivante :

25

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

30

35

[0049] Les coordonnées ( $xyz$ ) d'un point M exprimées dans le repère visible ( $O,xyz$ ) s'expriment, en fonction des coordonnées ( $x_my_mz_m$ ) de ce même point dans le repère du miroir ( $O_mx_my_mz_m$ ), sous la forme :

40

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{bmatrix} = M_{o'-v} \cdot S_z \begin{bmatrix} x_m \\ y_m \\ z_m \\ 1 \end{bmatrix}$$

(2)

45

En notant  $M_o' = M_{o'-v} \cdot S_z$ ,  $M_o'$  est donc la matrice de passage du repère du miroir ( $O_mx_my_mz_m$ ) au repère visible ( $O,xyz$ ).

[0050] Afin de déterminer les coordonnées d'un point dans le repère visible ( $O,xyz$ ) à partir des coordonnées ( $x',y',z'$ ) du même point dans le repère d'observation ( $O,x'y'z'$ ), on déduit des relations (1) et (2) la relation matricielle suivante :

50

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{bmatrix} = M_o \begin{bmatrix} x' \\ y' \\ z' \\ 1 \end{bmatrix}$$

55

avec

$$M_o = M_{o-v} \cdot M_m^{-1} \cdot S_z \cdot M_m$$

5

[0051] Ainsi, on conçoit que l'unité centrale de traitement d'informations 20 peut, par mise en oeuvre du calcul exposé ci-dessus, déterminer la position du repère d'observation C12 associé à la caméra par rapport au repère visible A12 associé à la cible 26 solidaire de cette caméra.

10 [0052] De plus, selon l'invention, il est prévu de positionner l'ensemble des systèmes optiques, et notamment les systèmes optiques de référence par rapport à la verticale du lieu de contrôle du véhicule.

[0053] A cet effet, on détermine une image du miroir 50 dans une première position de celui-ci, représentée en traits forts sur la figure 3. On déplace ensuite le miroir jusqu'à une seconde position représentée en traits mixtes sur la figure 3. Le déplacement est opéré autour de l'axe  $\Delta$  de suspension du miroir. Cet axe  $\Delta$  correspond à la verticale du lieu d'exploitation de l'installation.

15 [0054] A partir de l'algorithme mémorisé, l'unité centrale de traitement d'informations 20 détermine, pour les deux positions du miroir, les coordonnées des plans dans lesquels s'étend le miroir. La droite  $\Delta$  correspondant à l'intersection des deux plans ainsi déterminés. L'unité centrale de traitement d'informations 20 détermine ainsi la position relative du système optique de référence par rapport à une famille de plans horizontaux qui sont d'une importance capitale pour le cas particulier de la géométrie des véhicules.

20 [0055] Sur la figure 4, sont représentées schématiquement les systèmes optiques 12 et 14 en regard, en l'absence du véhicule automobile 10. Les systèmes optiques 12 et 14 sont disposés, comme sur la figure 1, l'un en face de l'autre avec un espace suffisant pour permettre le passage du véhicule 10.

[0056] Afin de déterminer par exemple la position relative des roues avant du véhicule, il convient de déterminer les positions relatives des repères d'observations associés aux systèmes optiques 12 et 14. Ceux-ci sont désignés par la figure 6 par C12 et C14.

25 [0057] La matrice de passage entre le repère d'observation C12 et le repère visible A12 est connue, puisque déterminée selon la méthode exposée précédemment.

[0058] Afin de déterminer les positions relatives des repères d'observation C12 et C14, le système optique 14 réalise, sous la commande de l'unité de traitement d'informations 20, une image de la cible 26. Cette image est traitée par l'unité de traitement d'informations 20.

30 [0059] Celle-ci, connaissant la configuration géométrique de l'ensemble des points de référence de la cible 26, détermine, par mise en oeuvre de l'algorithme mémorisé, la position relative de la cible 26 par rapport au repère d'observation C14 du système optique observant. Elle en déduit ainsi la position du repère visible A12 défini par la cible 26 par rapport au repère d'observation C14.

35 [0060] Connaissant la matrice de passage du repère d'observation C12 au repère visible A12 et inversement, l'unité centrale de traitement d'informations 20 détermine les positions relatives des repères d'observation C12 et C14.

[0061] Ainsi, l'unité centrale de traitement d'informations 20 détermine la position relative entre les repères d'observation associés aux deux systèmes optiques en regard 12 et 14.

40 [0062] De même, le système optique 16 disposé du côté opposé au système optique 12 par rapport à l'emplacement du véhicule 10 observe la cible 26 portée par le système optique 12 en l'absence de véhicule. De manière analogue, l'unité de traitement d'informations 20 détermine la position du repère d'observation, noté C16, associé au système optique 16 par rapport au repère d'observation C12 du système optique de référence.

45 [0063] Enfin, le système optique 16 étant également muni d'une cible immobilisée par rapport à la caméra incorporée dans ce système optique, l'observation de celui-ci à partir du système optique 16 permet, à l'unité centrale de traitement d'informations 20, de déterminer la position du repère d'observation noté C18 associé au système optique 18 par rapport au repère d'observation C16 du système optique de référence 16.

[0064] En effet, de manière analogue au procédé décrit en regard de la figure 4, la connaissance des positions relatives du repère visible de la cible portée par le système optique 16 et du repère d'observation associé au système optique 16 permet de déterminer les positions relatives des repères d'observation C16 et C18.

50 [0065] Ainsi, par chainage, si un système optique est dit de référence, l'ensemble de l'installation est référencée.

[0066] Après mise en place du véhicule 10, les quatre systèmes optiques ne peuvent plus s'observer l'un l'autre. Toutefois, chacun d'eux est susceptible de prendre une image d'une roue R du véhicule.

55 [0067] Comme décrit dans la demande WO-94/05969, chaque roue est munie d'une cible ou applique 60 reliée rigidement à de manière connue à la roue. Chaque applique comporte un ensemble de marques répartis suivant une configuration géométrique connue et mémorisée dans l'unité de traitement d'information 20.

[0068] Avant de procéder à la détermination des positions relatives des appliques et donc celles des roues, il convient de prendre en compte le voile de chaque applique et son excroissance afin que l'unité centrale de traitement d'informations 20 en tienne compte lors des calculs ultérieurs. A cet effet, et suivant un procédé connu en soi, l'unité 20 analyse



plusieurs images de chaque roue prises dans des positions distinctes déterminées.

[0069] A partir de l'observation simultanée de chaque applique 60 depuis les quatre systèmes optiques l'unité centrale de traitement d'informations 20 détermine la position relative de chaque roue par rapport au repère d'observation de la caméra associée comme connu en soi. En effet, le centre des roues étant connu, les plans horizontaux étant connus, leur section avec le plan des roues étant connue, la verticale du lieu étant connue, il est aisé de retrouver les angles et les distances caractéristiques de la géométrie du véhicule.

[0070] Connaissant les positions relatives des repères d'observation des quatre systèmes optiques, l'unité centrale de traitement d'informations 20 déduit les positions relatives des quatre roues du véhicule. Il est ainsi possible de déterminer la géométrie du véhicule et d'effectuer toute opération de réglage nécessaire au fonctionnement satisfaisant du véhicule.

[0071] On conçoit qu'avec une telle installation, la position des quatre systèmes optiques peut être modifiée pour chaque véhicule. De plus, il n'est pas nécessaire entre chaque opération de mesure de maintenir une position fixe entre les systèmes optiques. Il suffit simplement qu'entre chaque véhicule, l'unité 20 détermine à nouveau les positions relatives des repères d'observation associés aux différents systèmes optiques, suivant le procédé expliqué précédemment. Ainsi, l'installation est d'un faible encombrement et peut être entreposée facilement en dehors des phases d'utilisation.

[0072] Par ailleurs, l'installation et le procédé décrits ici sont généralisables à un nombre quelconque de caméras référencées les unes par rapport aux autres. Ainsi, il est possible de mesurer le véhicule dans différentes attitudes et à des hauteurs différentes.

## Revendications

1. Installation optique de détermination des positions relatives d'au moins deux objets (R) dans l'espace, du type comportant au moins deux systèmes optiques (12, 14, 16, 18) chacun associé à un repère d'observation (C12, C14, C16, C18), les systèmes optiques étant adaptés chacun pour la détermination de la position d'un objet dans l'espace par rapport à son repère d'observation (C12, C14, C16, C18), à partir d'une image de l'objet relevée par ledit système optique (12, 14, 16, 18), caractérisée en ce que les systèmes optiques (12, 14, 16, 18) sont déplaçables les uns par rapport aux autres, en ce qu'un système optique (12, 16), constituant un système optique de référence, comporte un ensemble (26) de points de référence, de configuration géométrique connue, l'ensemble (26) des points de référence étant immobilisé dans une position connue par rapport au repère d'observation (C12, C16) du système optique de référence (12, 16), et visible depuis le ou chaque autre système optique (14, 16, 18) en l'absence des objets, en ce que le ou chaque autre système optique (14, 16, 18) comporte des moyens (20) d'analyse d'une image de l'ensemble (26) des points de référence et des moyens (20) de positionnement de l'ensemble (26) des points de référence par rapport à son repère d'observation (C14, C16, C18), et en ce qu'elle comporte des moyens (20) de déduction de la position du repère d'observation (C14, C16, C18) du ou de chaque autre système optique (14, 16, 18) par rapport au repère d'observation (C12, C16) du système optique de référence, à partir de la position de l'ensemble (26) des points de référence par rapport à chaque repère d'observation (C14, C16, C18), et de la position connue de l'ensemble (26) des points de référence par rapport au repère d'observation (C12, C16) du système optique de référence (12, 16).
2. Installation selon la revendication 1, caractérisée en ce que chaque système optique (12, 14, 16, 18) comporte une caméra vidéo (12A, 14A, 16A, 18A) supportée par un pied (24) et reliée à une même unité centrale de traitement d'informations (20).
3. Installation selon la revendication 1 ou 2, caractérisée en ce que ledit ensemble (26) de points de référence comporte un groupe de marques visibles discrètes coplanaires (26A) ainsi qu'au moins une marque visible non coplanaire (26B).
4. Installation selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisée en ce qu'elle comporte des appliques (60) adaptées pour être solidarisées chacune à un objet (R) dans une position connue, et en ce que chaque système optique (12, 14, 16, 18) comporte des moyens (20) de détermination de la position d'une applique (60) dans l'espace par rapport à son repère d'observation (C12, C14, C16, C18) et des moyens (20) de déduction de la position de l'objet (R) par rapport à son repère d'observation (C12, C14, C16, C18) à partir de la position déterminée de l'applique (60) par rapport à son repère d'observation (C12, C14, C16, C18) et de la position connue de l'applique (60) par rapport à l'objet (R).
5. Installation comportant quatre systèmes optiques (12, 14, 16, 18) destinés à être disposés sensiblement aux sommets d'un carré.

- mets d'un quadrilatère pour la détermination des positions relatives de quatre objets (R) dans l'espace les objets (R) étant disposés à l'intérieur de la zone délimitée par le quadrilatère caractérisée en ce qu'elle comporte deux installations optiques (12, 14, 16, 18, 20) selon l'une quelconque des revendications précédentes, l'ensemble (26) des points de référence d'un premier système optique de référence (12) étant visible depuis le second système optique de référence (16) en l'absence des objets (R), en ce que le second système optique de référence (16) comporte des moyens (20) d'analyse d'une image de l'ensemble (26) des points de référence du premier système optique de référence (12) et des moyens (20) de positionnement de l'ensemble (26) des points de référence (12) par rapport à son repère d'observation (C16), en ce qu'elle comporte des moyens (20) de déduction de la position du repère d'observation (C16) du second système optique de référence (16) par rapport au repère d'observation (C12) du premier système optique de référence du premier système optique de référence (12), à partir de la position de l'ensemble (26) des points de référence du premier système optique de référence (12) par rapport au repère d'observation (C16) du second système optique de référence (16), et de la position connue de l'ensemble (26) des points de référence du premier système optique de référence (12) par rapport au repère d'observation (C12) du premier système optique de référence (12), et en ce qu'elle comporte des moyens (20) de déduction des positions relatives des repères d'observation (C12, C14, C16, C18) de chaque système optique (12, 14, 16, 18).
6. Procédé optique de détermination des positions relatives d'au moins deux objets (R) dans l'espace, du type mettant en oeuvre au moins deux systèmes optiques (12, 14, 16, 18) chacun associé à un repère d'observation (C12, C14, C16, C18), les systèmes optiques étant adaptés chacun pour la détermination de la position d'un objet dans l'espace par rapport à son repère d'observation (C12, C14, C16, C18), à partir d'une image de l'objet relevée par ledit système optique (12, 14, 16, 18), caractérisée en ce que les systèmes optiques (12, 14, 16, 18) sont déplaçables les uns par rapport aux autres, en ce que l'on munit un système optique (12, 16), constituant un système optique de référence d'un ensemble (26) de points de référence, de configuration géométrique connue, l'ensemble (26) de points de référence étant immobilisé dans une position connue par rapport au repère d'observation (C12, C16) du système optique de référence (12, 16), et visible depuis le ou chaque autre système optique (14, 16, 18) en l'absence des objets (R), en ce que le ou chaque autre système optique (14, 16, 18) analyse une image de l'ensemble (26) des points de référence et détermine le positionnement de l'ensemble (26) des points de référence par rapport à son repère d'observation (C14, C16, C18), et en ce que l'on déduit la position du repère d'observation (C14, C16, C18) du ou de chaque autre système optique (14, 16, 18) par rapport au repère d'observation (C12, C16) du système optique de référence, à partir de la position de l'ensemble (26) des points de référence par rapport à chaque repère d'observation (C14, C16, C18), et de la position connue de l'ensemble (26) des points de référence par rapport au repère d'observation (C12, C16) du système optique de référence (12, 16).

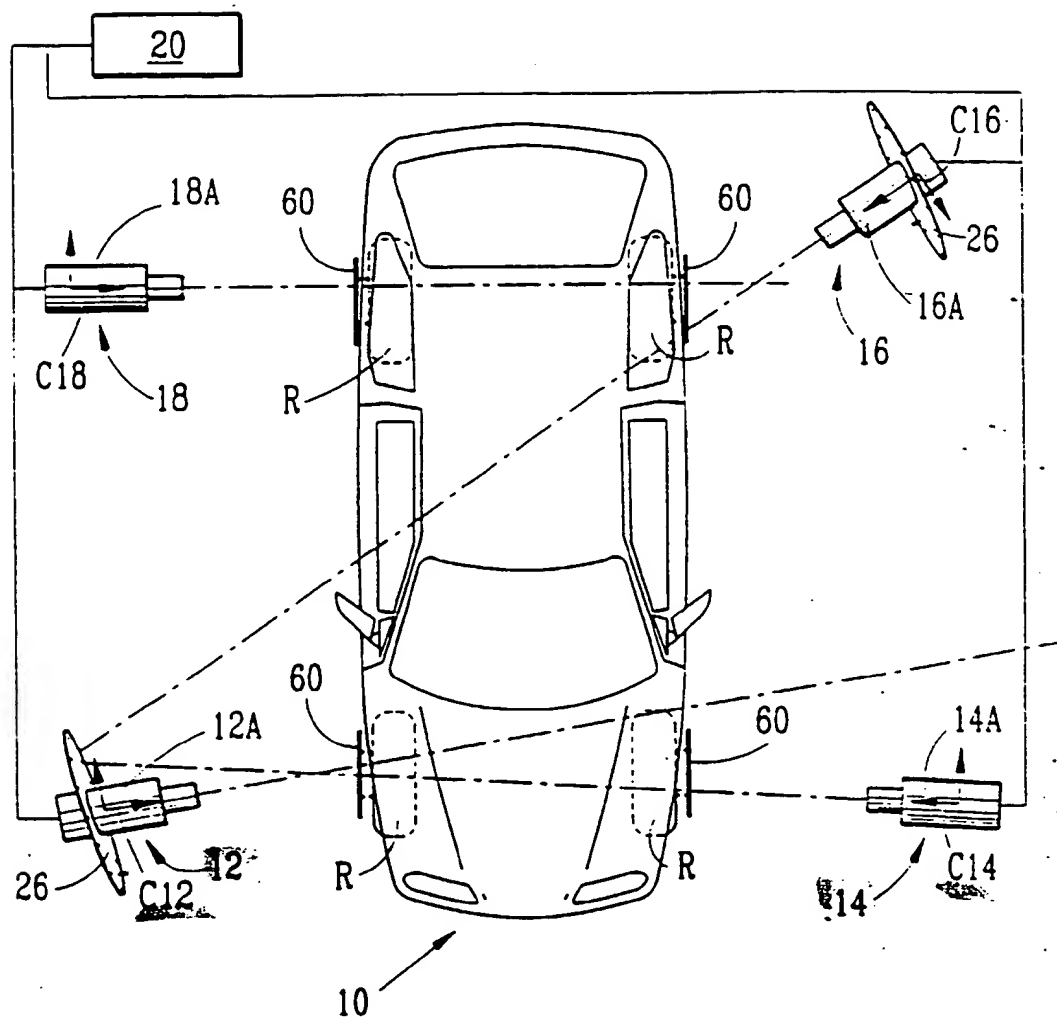


FIG.1

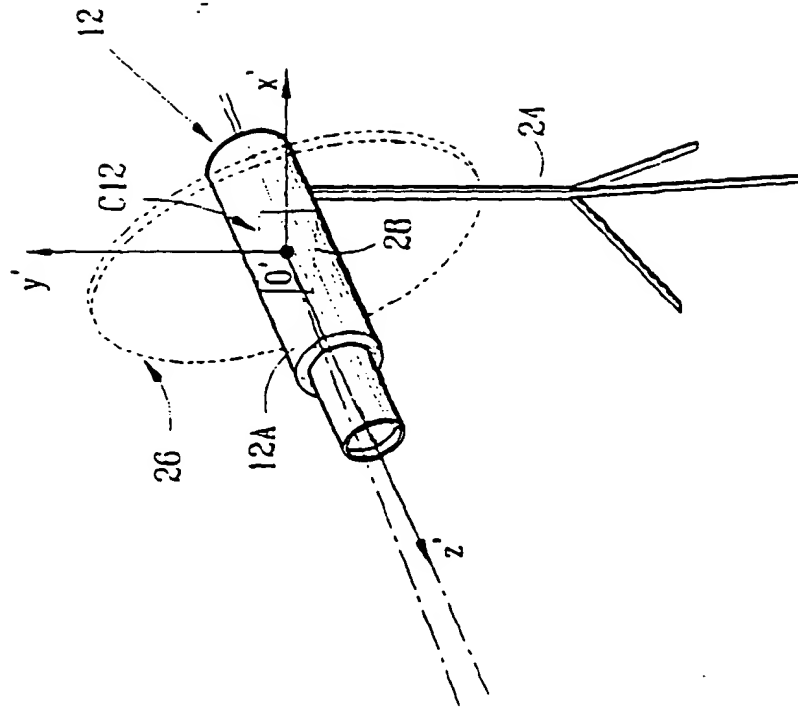


FIG. 2A

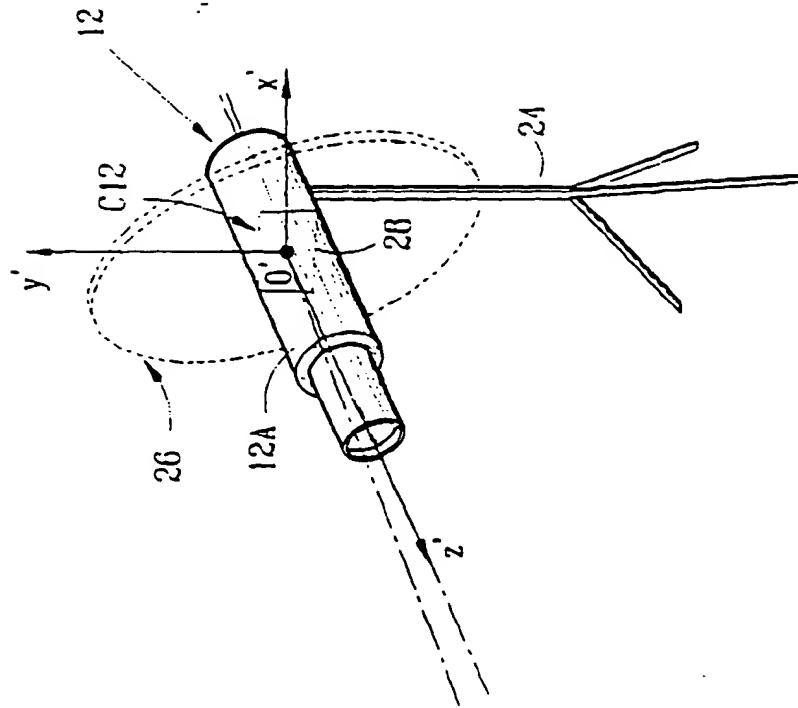
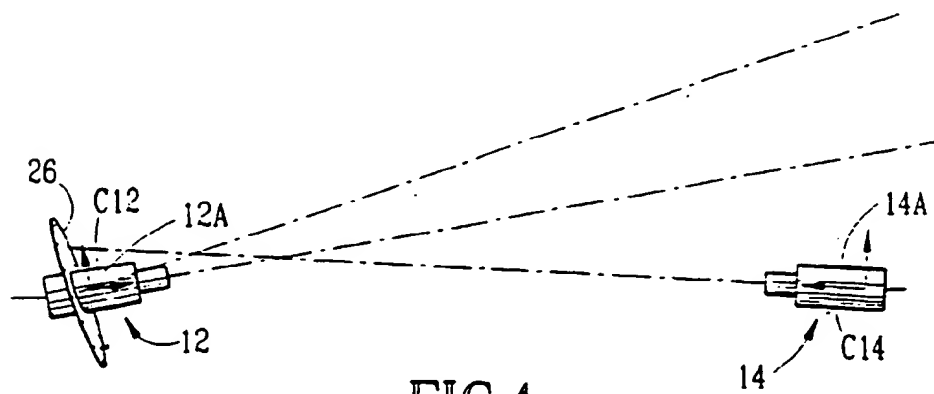
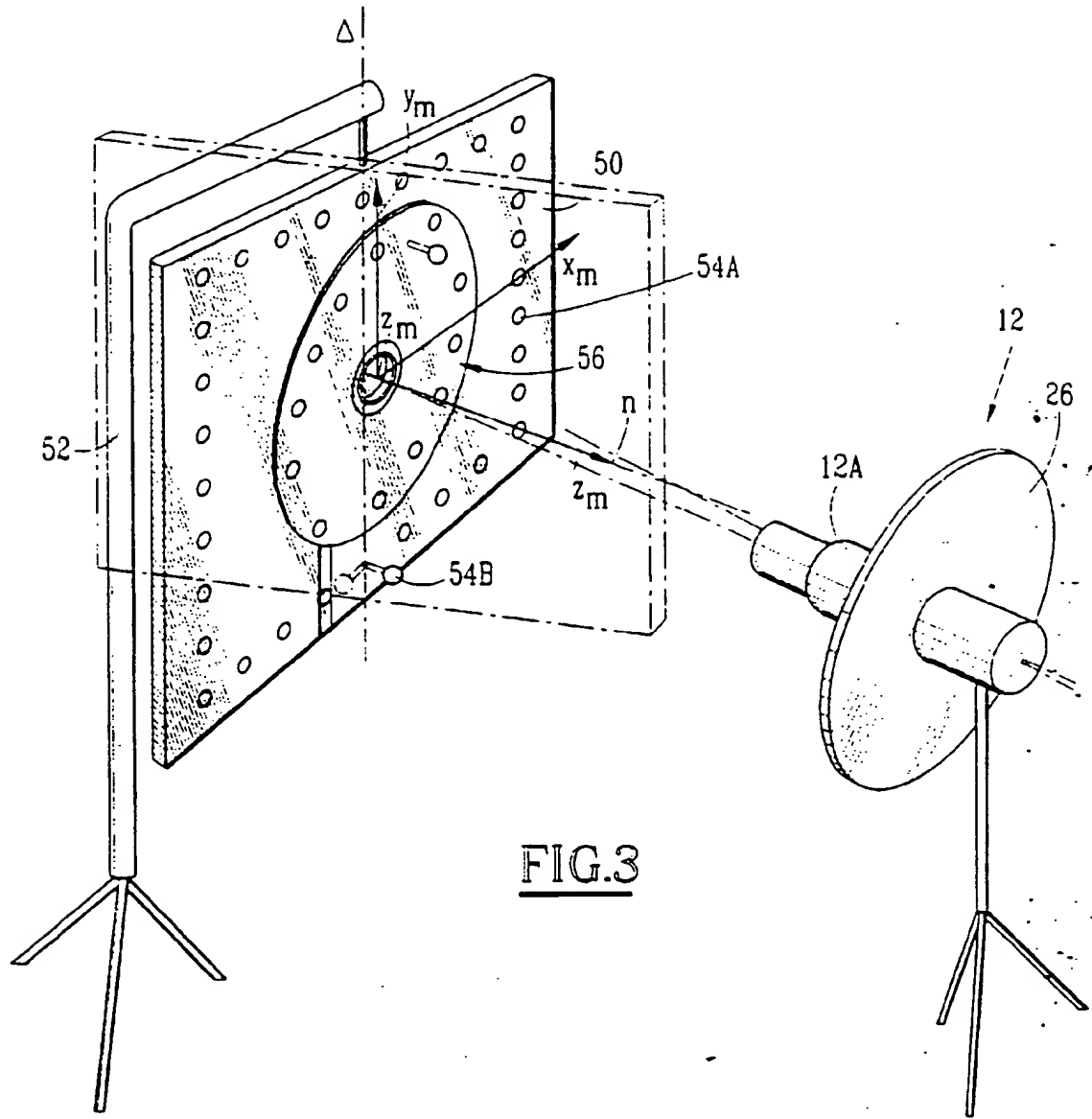


FIG. 2B





Office européen  
des brevets

## RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numero de la demande  
EP 99 40 2338

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS			
Categorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	Revendication concernée	CLASSEMENT DE LA DEMANDE (Int.CI.7)
X	US 4 928 175 A (HAGGREN HENRIK) 22 mai 1990 (1990-05-22) * colonne 7, ligne 59 - colonne 8, ligne 36; revendication 6; figure 5 *	1-6	G01B11/00 G01B11/275 G01C15/00
X	US 4 639 878 A (DAY CHIA P. ET AL) 27 janvier 1987 (1987-01-27) * colonne 6, ligne 55 - colonne 8, ligne 38; figures 3,4 *	1-6	
X	US 5 532 816 A (SPANN KYLE T. ET AL) 2 juillet 1996 (1996-07-02) * colonne 5, ligne 56 - colonne 8, ligne 60; figures 5-7 *	1,3-6	
X	US 5 148 591 A (PRYOR TIMOTHY R) 22 septembre 1992 (1992-09-22) * colonne 4, ligne 56 - colonne 5, ligne 42; figures 3A,3B *	1,2,6	
A	DE 40 41 723 A (THIEDIG ULLRICH; WENTE HOLGER (DE); KOESTER BERND (DE)) 25 juin 1992 (1992-06-25) * abrégé; figure 3 *	1	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (Int.CI.7) G01B G01C
Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications			
Lieu de la recherche LA HAYE		Date d'achèvement de la recherche 14 janvier 2000	Examineur Arca, G
<p>CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES</p> <p>X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire</p> <p>T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet antérieur mais publié à la date de dépôt ou après cette date D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons S : membre de la même famille, document correspondant</p>			

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE  
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET EUROPEEN NO.**

EP 99 40 2838

La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche européenne visé ci-dessus.  
Lesdits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du  
Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets

14-01-2000

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevets(s)	Date de publication
US 4928175 A	22-05-1990	FI 74556 B	30-10-1987
		AT 86758 T	15-03-1993
		CA 1309490 A	27-10-1992
		DE 3784715 A	15-04-1993
		DK 626387 A	11-12-1987
		EP 0301019 A	01-02-1989
		WO 8706353 A	22-10-1987
		JP 2708163 B	04-02-1998
		JP 63503092 T	10-11-1988
		NO 875077 A, B,	07-12-1987
US 4639878 A	27-01-1987	DE 3618480 A	04-12-1986
		JP 2602812 B	23-04-1997
		JP 62054115 A	09-03-1987
		JP 2511246 B	26-06-1996
		JP 7013613 A	17-01-1995
US 5532816 A	02-07-1996	AUCUN	
US 5148591 A	22-09-1992	DE 3241510 A	10-05-1984
		US 4453085 A	05-06-1984
		US 4482960 A	13-11-1984
		US 4769700 A	06-09-1988
		US 5608847 A	04-03-1997
		US 5602967 A	11-02-1997
		US 4788440 A	29-11-1984
		US 4602163 A	22-07-1988
DE 4041723 A	25-06-1992	WO 9211442 A	09-07-1992
		DE 59106873 D	14-12-1995
		EP 0564535 A	13-10-1993

EPO FORM P0410

(19)



Europäisches Patentamt  
European Patent Office  
Office européen des brevets



(11)

EP 1 003 011 A1

(11) EP 1 003 011 A1

(12) EUROPEAN PATENT REQUEST

(43) Date of publication: 24.05.2000 Bulletin 2000/21

(21) Registration number: 99402838.9

(22) Date of registration: 16.11.1999

(84) Appointed contracting states:

AT BE CH CV DE DK ES FI FR GB GR IE IT LI LU  
MC NL PT SE

Appointed extending states:

AL LT LV MK RO SI

(30) Priority: 20.11.1998 PR 9814661

(71) Buyer: Compagnie Européenne  
d'Equipements de Garage  
914120 Morangis (FR)

(72) Inventors:

• Rapidel, Jean-Loup  
27730 Buell (FR)

• Lapreste, Jean-Thierry  
63000 Clermond-Farrand (FR)

• Rives, Gérard  
63450 Chanonat (FR)

• Dhome, Michel  
63430 Pont du Château (FR)

• Lavest, Jean-Marc  
63000 Clermont-Ferrand (FR)

(74) Mandatory: Blot, Philippe Robert Emila and al  
c/o Cabinet Lavoix,  
2, place d'Estienne d'Orves  
75441 Paris Cedex 09 (FR)



#### **(54) Optical determination of the relative positions of objects in space**

(57) The equipment of optical determination of relative positions of at least two objects (R) such as vehicle wheels, is made up of two optical determination systems (12,14) of an objects relative position in space, each in relation to its observation marker (Cl2, Cl4). An optical system of reference (12) is made up of an aim (26) visible from the other optical system (14) during the absence of the objects (R). The other optical system (14) will be made up of means (20) of analysis of an image of the aim (26) and means (20) of positioning of the aim (26) in relation to its observation marker (Cl4), in order to deduce the position of the observation marker (Cl4) of the other optical system (14) in relation to the observation marker (Cl2) of the optical system of reference, from the positions of the aim (26) in relation to the observation marker (Cl4), and of the aim (28) in relation to the observation marker (Cl2) of the optical system of reference (12).

Application to a vehicle's geometry control.

#### **FIG.I**

#### **Description**

- [0001] This invention concerns an equipment of optical determination of relative positions of at least two objects in space, of the type made up of at least two optical systems, each associated to an observation marker, the optical systems each being adapted for the determination of an object's position in space, in relation to its observation marker; from an image of the object collected by the aforesaid optical system..
- [0002] It moreover concerns a process of optical determination of relative positions of at least two objects in space, of the type making use of at least two optical systems each associated to an observation marker, (the optical systems each being adapted for the determination of an object's position in space, in relation to its observation marker, from an image of the object collected by the aforesaid optical system..

- [0003] For a vehicle's geometry control, it is necessary to know the relative positions of the vehicle's wheels. This data allows to control and possibly correct the wheel alignment and in particular the vehicle's geometry.
- [0004] For this purpose, different equipments and procedures are known, allowing, with the help of several optical systems, each observing a wheel of the vehicle, the determination of the relative positions of these wheels. Such mechanisms and procedures are described for instance in the documents WO-94/05969 and US-A-5,675,515.
- [0005] In these equipments the optical systems are made up of independent cameras, or a sole camera, combined with sets of lenses defining distinct optical routes of a same incident ray. The optical systems allow simultaneous observation of the vehicle's wheels, and, from the wheels images, to determine their relative positions.
- [0006] For this purpose, it is necessary for the different optical systems to be in known relative positions, otherwise it is impossible to correlate the data obtained from the images of each wheel. In order to guarantee stable relative positions of the optical systems, the ones with respect to the others, the mechanisms described in these documents provide fixed mechanical structures on which the optical systems are immobilized.
- [0007] The presence of such fixed mechanical structures makes the equipment bulky. Moreover, it is fragile since the distortion, for instance following an involuntary shock, of the fixed mechanical structures leads to disproportioned errors of the vehicle wheel's relative positions.
- [0008] The invention intends to offer equipment and procedures for the optical determination of relative positions, in space, of at least two objects, more particularly of the vehicle's wheels, the equipment having reduced dimensions, being easy to use, and having reduced sensitivity to harsh conditions found in a garage.
- [0009] For this purpose, the invention intends to offer an equipment and procedure of optical determination of relative positions, in space, of at least two objects, mentioned above, characterized by the mobility of optical systems the ones with respect to the others, by the fact that an optical system, forming an optical system of reference, is made up of a set of points of reference, of known geometrical configuration, the set of reference points being immobilized in a known position in relation to the optical system of reference's observation marker, and visible to or each other optical system in the absence of the objects, by the fact that the or each other optical system includes means of analysis of an image of the set of reference points and means of positioning of the set of reference points in relation to its observation marker, and by the fact that it includes means of deduction of the position of the observation marker of the or each other optical system in relation with the optical system's

observation marker, from the position of the set of reference points in relation to each observation marker, and the known position of the set of reference points in relation to the observation marker of the optical system of reference.

- [0010] Following characteristic methods of realization, the optical equipment is made up of one or several of the following characteristics: - each optical system includes a video camera held up by a tripod and linked to a common data processing central unit ; - the aforesaid set of reference points is made up of a group of discreet visible coplanar markers as well as at least one visible non coplanar marker. ; - it's made up of brackets fitted to each be linked to an object in a known position, and so that each optical system includes means of determination of the position of a bracket in space with respect to its observation marker, means of deduction of the object's position in respect to its observation marker from the bracket's determined position with respect to its observation marker and of the known position of the bracket with respect to the object. - the equipment including four optical systems intended to be approximately set out at the vertexes of a quadrilateral for the determination of the relative positions of four objects in space, the objects being set out inside the zone delimited by the quadrilateral; it includes two pieces of optical equipments such as defined above, the set of reference points of a first optical system of reference being visible from the second optical reference system, in the absence of objects, the second optical system of reference includes means of analysis of an image of the set of reference points of the first optical system of reference and means of positioning of the set of reference points in relation to its observation marker; it includes means of deduction of the position of the observation marker of the second optical system of reference, from the position of the set of reference points of the first optical system of reference with respect to the observation marker of the second optical system of reference, and from the known position of the set of reference points of the first optical system of reference with respect to the observation marker of the first optical system of reference and it includes means of deduction of the observation marker's relative positions of each optical system.
- [0011] Besides, the invention has the purpose of an optical method of determination of the relative positions of at least two objects in space, of the type aforementioned, characterized by the fact that the optical systems are mobile the ones with reference to the others, and that an optical system, forming an optical system of reference is equipped with a set of reference points, of known geometrical configuration, the set of reference points being immobilized in a known position with respect to the optical system of reference's observation marker, and visible from the or each other optical system in the absence of the objects, that the or each of the optical system analyses an image of the set of reference points and determines the

positioning of the set of reference points with respect to its observation marker, that the position of the observation marker of the or each optical system with respect to the optical system of reference's observation marker, can be deduced from the position of the set of reference points with respect to each observation marker, and from the known position of the set.

- [0012] The invention will be better understood after reading the following, given only as an example and in reference to the sketches, as so :
  - Figure 1 is a top view of an optical equipment following the invention adapted to determine the relative positions of the four wheels of an automobile ;
  - Figures 2A et 2B are perspective views of a common optical system of reference of the device of figure 1 on which are respectively represented an observation marker to the image collecting gear and a visible marker defined by a set of reference points,
  - Figure 3 is a view in perspective of an optical system of reference placed in front of a mirror, which is mobile between two positions, in order to determine the position of the observation marker of the optical system with respect to its visible marker, and
  - Figure 4 is a diagrammatic view illustrating the determination following the invention of the relative positions of the observation markers of the two opposite optical systems.
- [0013] The equipment pictured on figure 1 is meant to determine, in an optical way, the relative positions of the four wheels R of an automobile indicated by reference 10.
- [0014] The equipment is made up of four optical systems 12, 14, 16, 18 associated each to a wheel R of the vehicle. Each of them includes a CDD video camera marked 12A, 14A, 16A, 18A. These four cameras are connected to a central data processing unit 20 made for instance by a computer set up to handle the incoming images.
- [0015] The optical systems 12, 14, 16, 18 are mobile with respect to each other around the vehicle 10. For a correct operation , the optical systems are arranged still at the four vertexes of a quadrilateral, more particularly a rectangle surrounding the vehicle.
- [0016] The optical system 12 is represented in perspective in figures 2A and 2B. The video camera 12A is supported by a tripod 24 suitable to be placed on the floor. Moreover, the camera 12A is integral with an aim 26 defining a visible marker (0,x,y,z) marked A12, and visible on figure 2A. The aim 26 is brought to a standstill by mechanical means with respect to the camera structure and more particularly with respect to its observation marker (0'x'y'z') marked C12. The observation marker C12 is connected to the camera 12A 's image collecting component 28 and more particularly to its CCD sensor.

- [0017] The optical system 12 forms an optical system of reference. In the same way, the optical system 16, set out in the opposite corner with respect to the vehicle in the configuration of figure 1, forms also an optical system of reference and has a structure identical the one of the optical system 12.
- [0018] On the contrary, the optical systems 14 and 18 are devoided of aim and include an ordinary video camera 14A, 18A supported by a tripod.
- [0019] In variation, the optical systems 14 et 18 have the same structure as the optical systems 12 and 16. In that case, the four optical systems are optical systems of reference , which allows redundant measurements and therefore a higher reliability of those measurement results.
- [0020] As represented in figure 2A, the aim 26 is made up, for instance, by a disk with an axis O. Twelve coplanar points are distributed on its circumference 26A. Furthermore, the aim 26 includes a thirteenth point 26B set out in front of the main plane of the disk containing the twelve points 26A.
- [0021] This point particularizes the disk 26 angularly and allows to define two orthogonal axis, Ox and Oy in the plane of the aim. The axis Oy runs advantageously at point 26B.
- [0022] The aim 26 shows a principal axis of symmetry, defined by the twelve coplanar points regularly distributed on the circumference of the disk. The main axis of symmetry forms an Oz axis perpendicular to the axis Ox, Oy.
- [0023] The axis Oz, Oy, Oz and the point O define the visible marker A12.
- [0024] That way, the aim 26 forms a set of reference points, of known geometrical configuration, defining the visible marker A12. The former is brought to a standstill in a position that can be determined with respect to the observation marker C12 of the camera.
- [0025] As represented on figure 28, the observation marker C12 has for axis, marked O', the axis of the CCD sensor of the camera 12A. The observation marker is defined by a trihedron (CTX', oy, O'z'), where O'z' is the optical axis of the camera, O'x' is an axis parallel to the CDD sensor's horizontal lines of pixels and is an axis parallel to the vertical columns of pixels of the CCD sensor.
- [0026] The geometrical configuration of the set of points of reference of the aim 26 is memorized in the data processing unit 20.
- [0027] The data processing unit 20 can bring into operation algorithms determining the position of an object in space. In particular, it is adjusted in order to determine the position of an object holding a set of reference points set up according to a known geometrical configuration, this configuration having first been memorized in the unit 20. This position is determined after the image of this object taken by a camera connected to the data processing

unit. The position of the object in space is calculated with respect to the observation marker C12 of the camera. The algorithm brought into operation is of all adapted types and for example of the type described in the application WO 94/05969.

- [0028] In order to bring into operation such algorithms, it is advisable to use cameras that have been standardized beforehand to compensate for errors resulting from imperfections of the camera and its included sensor.
- [0029] For this purpose, we determine, for each camera, its intrinsic characteristics (observation marker, focal distance, size of image elements or pixels, radial distortion, tangential distortion) and its extrinsic characteristics (rotation and translation which, applied to the observed object, form an image strictly identical to the image observed by the camera cleared of its distortions). In that way we determine by known methods the corrections that have to be brought to the produced images in order to determine a correct position of an object in space.
- [0030] In order to bring the method into operation following the invention, it is necessary to know, for each optical system of reference 12, 16, the relative positions of the observation marker of the camera, and of the visible marker defined by the aim. In fact, it is extremely tricky, or even impossible, during the immobilization of the aim on the camera, to fasten the latter so that the two markers C12 et A12 merge exactly.
- [0031] Figure 3 shows the method brought into operation to determine the relative position of the two markers C12 and A12 characteristic to the optical system 12. The method used for the optical system 16 is similar.
- [0032] After this method, the optical system 12 is set out opposite to the reflecting side of a plane mirror 50. This mirror is hung onto a support 52. The means of suspension are adjusted to allow the free rotational movement of the mirror around a vertical axis  $\Delta$
- [0033] On its reflecting side the mirror 50 includes a set of reference markers 54A made up of black disks distributed, in a known geometrical figure such as a square, at the circumference of the mirror. An additional reference marker 54B is set up in front of the reflecting side of the mirror 50. The geometrical configuration of the reference markers 54A et 54B is known and memorized in the data processing unit 20.
- [0034] On figure 3, the normal to the mirror 50 is marked n. This normal is perpendicular to the mirror and runs through the center of the figure defined by the set of markers 54A et 54B. The mirror includes its own marker (Om, XmYmZm) of which the center Om is the center of the figure defined by the markers 54A. The axis OmZm runs after the normal n. The axis OmXm and OmYm run perpendicularly one to the other in the plane of the mirror 50. Advantageously the axis OmYm runs parallel to the axis  $\Delta$

- [0035] The aim 26, bearing the set of reference points 26A and 26B, is thrown back on the reflecting surface of the mirror 50 and forms an image of the aim marked 56 on the mirror.
- [0036] In that way, the camera 12A collects, in the observation marker C12, an image of the reflecting side of the mirror 50 including on one hand the set of reference markers 54A and 54B, and on the other hand, the reflected image 56 of the aim supported by the optical system.
- [0037] The camera 12A connected to the data processing unit 20 defines, from the memorized algorithm, the position of the mirror 50 with respect to the observation marker C12, using the image taken from the set of reference markers 54A and 54B supported by the mirror.
- [0038] In the same way, the data processing unit 20 defines, by bringing into operation the memorized algorithm, the position of the virtual image of the aim 28 with respect to the observation marker C12 of the camera. More precisely, the data processing unit 20 defines the position of a visible virtual marker (O'', x''y''z'') associated to the virtual image 26 with respect to the observation marker (O', x'y'z') of the camera.
- [0039] The visible virtual marker (O'', x''y''z'') is the virtual image of the visible marker (O,xyz) obtained by reflection in the mirror 50.
- [0040] From the relative positions, of the observation marker (O', x'y'z') with respect to the mirror's marker (Om ,XmYmZm) on one hand, and of the visible virtual marker (O''x''y''z'') with respect to the observation marker (O',x'y'z') on the other hand, the data processing unit 20 defines the position of the observation marker (O', x'y'z') of the camera, in relation to the visible marker (O,xyz) defined by the aim 26.
- [0041] For this purpose, the data processing unit 20 proceeds as follows.
- [0042] With the algorithm brought into operation by the unit 20, the position of the virtual image, corresponding to the image 56 of the aim and obtained by reflection into the mirror 50 is defined by analysis of the image collected by the camera 12A
- [0043] This positioning allows the definition of a matrix Mo-v running through the virtual marker (O'',x''y''z'') connected to the virtual image and the observation marker (O',x'y'z'). This change of markers expresses itself in a matrix form as follows :

$$\begin{bmatrix} x'' \\ y'' \\ z'' \\ 1 \end{bmatrix} = M_{o-v} \begin{bmatrix} x' \\ y' \\ z' \\ 1 \end{bmatrix} \text{ où } M_{o-v} = \begin{bmatrix} R & T \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Mo-v being a 4x4 matrix.

where R is a 3x3 subset matrix of rotation

T is a 1x3 subset matrix of translation

(x'',y'',z'') are the coordinates of a point M visible virtual marker (O'',x''y''z'') ; and

(x',y',z') are the coordinates of a point M in the observation marker (O',x'y'z').

- [0044] With an algorithm of the same kind, the data processing unit 20 defines the position of the mirror 50, and more precisely of its associated marker (Om, Xm Ym Zm) in the observation marker (O',x'y'z') connected to the camera. To realize this, the data processing unit 20 analyses the image of the mirror 50 collected by the camera and defines the position of the mirror 50 from the analysis of the position of the reference markers 54A and 54B appearing on the image.
- [0045] A crossing matrix Mm, between the observation marker(O', x'y'z') and the marker (Om,Xm YmZm) of the mirror, is defined in that way. The coordinates of a same point M in the two markers are consequently bound by the relation :

$$\begin{bmatrix} x_m \\ y_m \\ z_m \\ 1 \end{bmatrix} = M_m \begin{bmatrix} x' \\ y' \\ z' \\ 1 \end{bmatrix} \text{ où } M_m = \begin{bmatrix} R_m & T_m \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$$

(1)

with Rm being a 3x3 subset matrix of rotation

Tm, is a 1x3 subset matrix of translation; and

(Xm Ym Zm) are the coordinates of the point M in the marker of the mirror (Om,XmYmZm)

from which we deduce :

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \\ z' \\ 1 \end{bmatrix} = M_m^{-1} \begin{bmatrix} x_m \\ y_m \\ z_m \\ 1 \end{bmatrix}$$

where Mm-1 is the inverse of the matrix Mm



- [0046] In that way, it is possible to express, in the visible virtual marker (O",x"y"z") the coordinates of the point M according to its coordinates in mirror marker (Om,XmYmZm) with the following matrix relation :

$$\begin{bmatrix} x'' \\ y'' \\ z'' \\ 1 \end{bmatrix} = M_{O'' \rightarrow O} \begin{bmatrix} x_m \\ y_m \\ z_m \\ 1 \end{bmatrix}$$

- [0047] In order to define the position of a real point M in the marker of the mirror (Om,XmYmZm), we use the property according to which the virtual image of a point of coordinates (x,y,z) in a given marker, when the mirror extends after the plane Ox, Oy, has for coordinates (x,y, z).
- [0048] In that way, the coordinates (x'',y'',z'') of the virtual image in the visible virtual marker of the point M of coordinates (x,y,z) in the visible marker are obtained with the application of the following diagonal matrix Sz :

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

- [0049] The coordinates (xyz) of a point M expressed in the visible marker (O,xyz) express themselves according to the coordinates (XmYmZm) of this same point in the marker of the mirror (Om XmYmZm), as follows :

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{bmatrix} = M_{O \rightarrow O'} \cdot S_z \begin{bmatrix} x_m \\ y_m \\ z_m \\ 1 \end{bmatrix}$$

In writing  $M_o' = M_o \cdot v' \cdot S_z$ . Consequently  $M_o'$  is the crossing matrix of the mirror marker ( $O_m X_m Y_m Z_m$ ) at the visible marker ( $O, xyz$ ).

- [0050] In order to define the coordinates of a point in the visible marker ( $0, xyz$ ) from the coordinates ( $x', y', z'$ ) of the same point in the observation marker ( $O, x'y'z'$ ), we deduce from the relations (1) and (2) the following matrix relation :

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{bmatrix} = M_o \begin{bmatrix} x' \\ y' \\ z' \\ 1 \end{bmatrix}$$

$$M_o = M_{o-v} \cdot M_m^{-1} \cdot S_z \cdot M_m$$

- [0051] In that way, we understand that the central data processing unit 20 can, by using the calculation above, define the position of the observation marker C12 associated to the camera with respect to the visible marker A12 associated to the aim 26 interdependent with this camera.
- [0052] Moreover, following the invention, it is planned to position the whole set of optical systems, and more precisely the optical systems of reference with respect to the vertical of the place of control of the vehicle.
- [0053] For this purpose, we define an image of the mirror 50 in its first position, represented with thick strokes on figure 3. We then move the mirror to a second position represented with joined strokes on figure 3. The shifting is carried out around the mirror's suspension axis  $\Delta$ . This axis  $\Delta$  corresponds to a vertical of the equipment's place of operation.
- [0054] From the memorized algorithm, the central data processing unit 20 defines, for the two positions of the mirror, the coordinates of the planes in which the mirror stretches out. The line  $\Delta$  corresponds to the intersection of the two planes defined in this way. In this way, the central data processing unit 20 defines the relative position of the optical system of

reference with respect to a group of horizontal planes which are of primary importance for the particular case of vehicle geometry.

- [0055] On figure 4, the opposite optical systems 12 and 14 are represented diagrammatically, in the absence of the automobile 10. The optical systems 12 and 14 are set out, as in figure 1, one facing the other with a sufficient space to allow the vehicle 10 to pass through.
- [0056] In order to define for instance the relative position of the vehicle's front wheels, the relative positions of the observation markers associated to the optical systems 12 and 14 have to be defined. The former are represented on figure 6 by C12 and C14.
- [0057] The crossing matrix between the observation marker C12 and the visible marker A12 is known since it has been defined following the previously described method.
- [0058] In order to determine the relative positions of the observation markers C12 and C14, the optical system 14 produces, under the command of the data processing unit 20 an image of the aim 26. This image is processed by the data processing unit 20.
- [0059] This unit, knowing the geometrical configuration of the set of points of reference of the aim 26, defines, by using the memorized algorithm, the relative position of the aim 26 with respect to the observation marker C14 of the observing optical system. In that way it deduces the position of the visible marker A12 defined by the aim 26 with respect to the observation marker C14.
- [0060] Knowing the crossing matrix of the observation marker C12 at the visible marker A12 and vice versa, the central data processing unit 20 determines the relative positions of the observation markers C12 and C14.
- [0061] In that way, the central data processing unit 20 determines the relative position between the observation markers at the two opposite optical systems 12 and 14.
- [0062] In the same way, the optical system 16 set out on the opposite side of the optical system 12 with respect to the location of the vehicle 10 observes the aim 26 supported by the optical system 12 in the absence of a vehicle. In the same way the data processing unit 20 determines the position of the observation marker, written C16, associated to the optical system 16 with respect to the observation marker C12 of the optical system of reference.
- [0063] Finally, the optical system 16 is also equipped with an aim, immobilized in relation to the camera inserted in this optical system, the observation of the former with the optical system 18 allows the central data processing unit 20 to determine the position of the observation marker, marked C18 associated to the optical systems 16 with respect to the observation marker C16 of the optical system of reference 16.

- [0064] In fact, with a procedure similar to the one described opposite to figure 4, the knowledge of the relative positions of the visible marker of the aim, supported by the optical system 16 and of the observation aim associated with the optical system 16, allow the determination of the relative positions of the observation markers C16 and C18.
- [0065] And that way, by chaining, if an optical system is called of reference, the whole equipment is bearing a reference.
- [0066] After positioning the vehicle 10, the four optical reference systems can't observe each other any more. Nevertheless, each of them is capable of taking an image of a wheel R of the vehicle.
- [0067] As described in the application WO-94/05969, each wheel is equipped with an aim or bracket 60 connected rigidly and in a known manner to the wheel. Each bracket includes a set of markers arranged after a geometrical configuration known and memorized in the data processing unit 20.
- [0068] Prior to determining the relative positions of the brackets and consequently of the wheels, it is advisable to take in account the buckle of each bracket and its off-centering in order for the central data processing unit 20 to take it into account for further calculations. For this purpose, and following a method known per se, the unit 20 analyses several images of each wheel taken in distinct determined positions.
- [0069] From the simultaneous observation of each bracket 60 from the four optical systems, the central data processing unit 20 determines the relative position of each wheel with respect to the observation marker of the camera associated as known per se. In fact, the center of the wheels being known, the horizontal planes being known, their point of section with the plan of the wheels being known, the vertical of the place being known, it is easy to find 16 angles and the characteristic distances of the vehicle's geometry.
- [0070] Knowing the relative positions of the observation markers of the four optical systems, the central data processing unit 20 deduces the relative positions of the vehicle's four wheels, and so it is possible to determine the vehicle's geometry and to realize all adjusting procedures necessary to a satisfactory operation of the vehicle.
- [0071] It is understood that with such an equipment, the position of the four optical systems can be modified for each vehicle. Moreover, it is not necessary between each measuring operation to keep a fixed position between the optical systems. It is sufficient that between each vehicle, the unit 20 again determines the relative positions of the observation markers associated to the different optical systems, following the method previously explained. So the equipment is of little dimension and can be easily stored when not in use.

- [0072] Moreover, the equipment and the method described here can be generalized to any number of cameras referenced the ones with respect to the others. In this way, it is possible to measure the vehicle in different positions and at different heights.

## Claiming

1. The optical equipment of determination of the relative positions of at least two objects (R) in space, of the type including at least two optical systems (12, 14, 16, 18) each associated to an observation marker (C12, C14, C16, C18), the optical systems being each adapted for the determination of an object in space with respect to its observation marker (C12, C14, C16, C18), from an image of the object recorded by the optical system (12, 14, 16, 18) characterized by the fact that the optical systems (12, 14, 16, 18) are mobile ones compared to the others, that an optical system (12, 16), forming an optical system of reference, includes a set (26) of points of reference, of known geometrical configuration, the set (26) of points of reference being immobilized in a known position with respect to the observation marker (C12, C16) of the optical system of reference (12, 16), and visible from the or each other optical system (14, 16, 18) in the absence of the objects, by the fact that the or each other optical system (14, 16, 18) includes means (20) of analysis of an image of the set (26) of reference points and of the means (20) of positioning of the set (26) of reference points with respect to its observation marker (C14, C16, C18), that it includes means (20) of deduction of the position of the observation marker (C14, C16, C18) of the or each other optical system (14, 16, 18) with respect to observation marker (C12, C16) of the optical system of reference, from the position of the set (26) of points of reference with respect to each observation mark (C14, C16, C18), and of the known position of the set (26) of reference points with respect to the observation marker (C12, C16) of the optical system of reference (12, 16).

2. Equipment following claim 1, characterized by the fact that each optical system (12, 14, 16, 18) includes a video camera (12A, 14A, 16A, 18A) supported by a tripod (24) and connected to a common central data processing unit (20).

3. Equipment following claim 1 or 2, characterized by the fact that the aforesaid set (26) of points of reference includes a group of visible discreet coplanar markers (26A) as well as at least one visible non coplanar marker (26B).

4. Equipment following one of any of the previous claims, characterized by the fact that it includes brackets (60) adjusted to be joined each to an object (R) in a known position, and by the fact that each optical system (12, 14, 16, 18) includes means (20) of determination of a position of a bracket (60) in space with respect to its observation marker (C12, C14, C16, C18) and means (20) of deduction of the object's position (R) with respect to its observation marker (C12, C14, C16, C18)

from the determined position of the bracket (60) with respect to its observation marker (C12, C14, C16, C18) and to the known position of the bracket (60) with respect to its object (R).

5. Equipment including four optical systems (12, 14, 16, 18) intended to be set out sensibly on the vertex of a quadrilateral to determine the relative positions of four objects (R) in space, the objects (R) being set out on the inside of the area delimited by the quadrilateral, characterized by the fact that it includes two optical equipments (12, 14, 16, 18, 20) following one of any of the previous claims, the set (26) of points of reference of a first optical system of reference (12) being visible from the second optical system of reference (16) in the absence of objects (R), by the fact that the second optical system of reference (16) includes means (20) of analysis of an image of the set (26) of points of reference of the first optical system of reference (12) and means (20) of positioning of the set (26) of points of reference (12) with respect to its observation marker (C16), by the fact that it includes means (20) of deduction of the position of the observation marker (C16) of the second optical systems of reference (16) with respect to the observation marker (C12) of the first optical systems of reference (12), from the position of the set (26) of points of reference of the first optical systems (12) with respect to the observation marker (C16) of the second optical systems of reference (16), and of the known position of the set (26) of points of reference of the first optical systems of reference (12) with respect to the observation marker (C12) of the first optical systems of reference (12) by the fact that it includes means (20) of deduction of the relative position of the observation marker (C12, C14, C16, C18) of each optical systems (12, 14, 16, 18).

6. Optical method of determination of the relative positions of at least two objects (R) in space, of the type using at least two optical systems (12, 14, 16, 18) each associated to an observation marker (C12, C14, C16, C18), the optical systems being each adapted to determine the position of an object in space with respect to its observation marker (C12, C14, C16, C18), from an image of the object revealed by the aforesaid optical system (12, 14, 16, 18), characterized by the fact that the optical systems (12, 14, 16, 18) are mobile the ones compared to the others, the fact that an optical system (12, 16), forming on optical system of reference is equipped with a set (26) of points of reference, of known geometrical configuration, the set (26) of points of reference being immobilized in a known position with respect to the observation marker (C12, C16) of the optical systems of reference (12, 16), and visible from the or each other optical system (14, 16, 18) in the absence of objects (R), by the fact that the or each other optical system (14, 16, 18) analyses an image of the set (26) of the reference points and determines the positioning of the set (26) of the points of reference with respect to its observation marker (C14, C16, C18), and by the fact that the position of the observation marker (C14, C16, C18) is deduced from the or each other optical systems (14, 16, 18) with respect to the observation marker (C12, C16) of the optical systems of reference, from the position of the set

(26) of points of reference with respect to each observation marker (C14, C16, C18), and from the known position of the set (26) of points of reference with respect to the observation marker (C12, C16) of the optical system of reference (12, 16).

P13 - Chart

**European research report**

**DOCUMENTS CONSIDERED AS BEING RELEVANT**

Category	Document stating with indication, of the relevant parts	Concerned claim	Classification of needed application
----------	--	-----------------	---

Required technical  
Fields

This report has been established for all claims

Place of research	Date of completion of research	Examiner
-------------------	--------------------------------	----------

Category of stated documents

X : particularly relevant in itself

Y : particularly relevant in combination with another document of the same category

A : Technological background

O : Non written disclosure

P : Interpolated document

T : Theory or basic principle of the invention

E : Document of previous patent, but published at the date of registration or after this date

D : Stated in the application

L : Stated for other reasons

.....

& : part of the same group, corresponding document



P14 – Chart

Annex to the European research report related to the European patent application N° EP 99 40 2838

This annex indicates the members of the group of patents that are relative to the patent documents stated in the European research report stamped above.

The aforesaid members are held in the computer file of the European Office of patents on the following date : 14-01-2000

The data is handed as information and do not engage the responsibility of the European Office of patents.

For all information concerning this annex : See Official Journal Of the European Office of patents no. 12/82